

POTENSI BIOGAS DARI CAMPURAN JERAMI PADI DAN KOTORAN AYAM PADA SUHU MESOFILIK DAN TERMOFILIK DENGAN RASIO C/N IDEAL

M AFDOL GANI¹, MARHAMA JELITA²

Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, UIN Suska Riau¹, Dosen Program Studi Teknik Elektro, UIN Suska Riau²

Email: 11950515135@students.uin-suska.ac.id¹, marhamajelita@gmail.com²

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v8i2.6263>

Abstrak : Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan limbah jerami padi menjadi biogas dengan melakukan pencampuran kotoran ayam untuk mencapai rasio C/N ideal 30. Metode yang digunakan dalam proses fermentasi anaerob menggunakan simulasi perangkat lunak SuperPro Designer dan membandingkan produksi biogas yang baik dari temperatur mesofilik (35°C) dan termofilik (55°C). Hasil penelitian menunjukkan 4.000 kg jerami padi yang digunakan untuk mencapai rasio C/N 30 diperlukan campuran ayam sebanyak 1.455kg. potensi biogas dari campuran jerami padi dan kotoran ayam dengan rasio C/N 30 pada suhu 55°C menghasilkan biogas dengan volume tertinggi, mencapai 617.887 m³, dengan kandungan metana sebesar 81,83%. Peningkatan hasil biogas sebesar 20,15% pada temperatur termofilik dibandingkan dengan temperatur mesofilik menunjukkan bahwa suhu tinggi meningkatkan efisiensi produksi biogas. Penelitian ini menemukan potensi jerami padi sebagai bahan baku biogas yang berkelanjutan dengan rasio C/N 30 dengan temperatur termofilik yang mempengaruhi produksi biogas dan energi lisrik yang dihasilkan.

Kata Kunci: *jerami padi, rasio C/N, temperatur, Biogas*

Abstract : This research aims to optimize the utilization of rice straw waste into biogas by mixing chicken manure to achieve an ideal C/N ratio of 30. The method used in the anaerobic fermentation process uses SuperPro Designer software simulation and compares good biogas production from mesophilic temperatures (350C) and thermophilic (550C). The results of the research show that 4,000 kg of rice straw used to achieve a C/N ratio of 30 requires a mixture of 1,455 kg of chicken. Biogas potential from a mixture of rice straw and chicken manure with a C/N ratio of 30 at a temperature of 55°C produces the highest volume of biogas, reaching 617,887 m³, with a methane content of 81.83%. The increase in biogas yield of 20.15% at thermophilic temperatures compared to mesophilic temperatures shows that high temperatures increase the efficiency of biogas production. This research found the potential of rice straw as a sustainable biogas raw material with a C/N ratio of 30 with a thermophilic temperature that influences biogas production and the electrical energy produced.

Keywords: *rice straw, C/N ratio, temperature, Biogas*

A. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara agraris dengan kekayaan sumber daya alam dan sektor pertanian yang berkembang pesat [1]. Sektor tanaman pangan di Indonesia salah satunya adalah tanaman padi yang bisa tumbuh hampir di seluruh wilayah di Indonesia, karena komiditi ini memiliki fungsi utama sebagai penyuplai pangan nasional dan untuk menjaga stabilitas ketahanan pangan [2]. Tanaman padi adalah komoditas pertanian yang sangat penting bagi masyarakat Indonesia, karena sebagian besar penduduk Indonesia mengandalkan padi sebagai bahan utama untuk memenuhi kebutuhan pangan sehari-hari. [3]. Penambahan penduduk pada Setiap tahun, diperlukan peningkatan produksi padi untuk memenuhi kebutuhan pangan masyarakat., dengan total penduduk Indonesia pada tahun 2022 sebanyak 275.773.800 juta jiwa, angka tersebut naik 1,13% dari tahun sebelumnya dengan angka 272.682 jiwa [4].

Produksi padi di Indonesia pada tahun 2023 sebesar 53,63 juta ton Gabah Kering Giling. Dalam proses pemanenan dalam 1 hektar lahan sawah padi yang dihasilkan 12 ton padi yang terdiri dari

gabah, beras, jerami, sekam, dan dedak padi, kemudian dalam proses pemanen secara tidak langsung menghasilkan sejumlah besar limbah padi [5]. Limbah padi terdiri dari jerami padi, sekam padi dan dedak padi, namun limbah padi yang paling dominan yaitu limbah jerami, dalam 1 hektarnya limbah jerami menghasilkan 4 ton, sekam padi 2 ton dan dedak padi 1 ton, jerami padi merupakan limbah dominan dan berpotensi untuk dimanfaatkan [6].

Dengan dominannya jerami yang dihasilkan, limbah jerami dibiarkan setelah proses panen dilakukan pembakaran dan penumpukan yang menyebabkan polusi. Debu jerami padi mengandung partikel halus yang dapat terhirup. Paparan jangka panjang dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan dan lingkungan[6]. Dampak negatif dari tidak dimanfaatkan dengan baik dan dibakar dapat mengakibatkan asab dan banyak mengandung polutan yang berbahaya. Dalam pemanfaatan limbah jerami para petani memanfaatkan limbah jerami padi dijadikan bahan bakar memasak yang pemanfaatannya kurang efektif, apabila jerami padi dibakar untuk dijadikan bahan bakar hal ini akan mengakibatkan polusi dikarenakan pada proses pembakaran jerami menghasilkan asap yang dapat mencermati udara dan berdampak negatif pada kesehatan manusia serta lingkungan. Dan limbah jerami padi bisa dimanfaatkan menjadi biogas yang pemanfaatan yang lebih efektif dikarenakan Biogas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan dan membantu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. [7]. Penelitian [8] mengkaji bahwa jerami padi dapat dimanfaatkan menjadi biogas. Penelitian [8] menemukan bahwa 1 kg jerami padi menghasilkan $0,23 - 0,38 \text{ m}^3$ biogas.

Pemanfaatan limbah jerami menjadi biogas sudah banyak dilakukan berdasarkan penelitian [9] melakukan penelitian memanfaatkan limbah Jerami padi dapat diubah menjadi biogas menggunakan metode fermentasi anaerob yang menggunakan bahan baku limbah jerami padi sebanyak 5,885 ton menghasilkan biogas sebanyak 208,393 m^3 per hari, dengan komposisi 78,9283% metana dan 21,0717% karbon dioksida. Berdasarkan penelitian [10] melakukan penelitian memanfaatkan feses kerbau dan jerami padi padi menjadi biogas menggunakan metode fermentasi anaerob dengan memfasilitasi bahan baku untuk menghasilkan biogas terbaik dari rasio C/N yang berbeda dan hasil akhir yang didapatkan bahwa Perbandingan komposisi biogas yang dihasilkan dari feses kerbau dan jerami padi dengan rasio C/N 22,39 dan waktu fermentasi 7 hari menghasilkan kualitas biogas yang optimal, yang dapat dilihat dari pH awal, pH akhir, uji nyala api, dan stabilitas api. Berdasarkan penelitian [11] melakukan penelitian terhadap pengaruh variasi penambahan volume limbah tahu pada jerami padi terhadap pembentukan biogas menunjukkan bahwa penambahan limbah tahu pada jerami padi tidak memberikan dampak signifikan terhadap jumlah biogas yang dihasilkan. Dari penelitian terkait apabila limbah jerami padi dijadikan biogas memiliki rasio C/N 41 dengan kandungan karbon organik 44,71% dan nitrogen total 1,08% [12].

Pada pembentukan biogas nilai optimum rasio C/N untuk produksi biogas yaitu 20-30 [13]. Dalam pembentukan rasio C/N ideal, Substrat dengan rasio C/N yang terlalu rendah dapat meningkatkan produksi amonia dan menghambat produksi metana, sementara rasio C/N yang terlalu tinggi, yang menunjukkan kekurangan nitrogen, akan menurunkan pembentukan protein, sehingga menghasilkan energi dan bahan struktural metabolisme mikroorganisme yang lebih rendah [14].

Standar rasio C/N untuk pembentukan biogas yang optimal 20-30. Agar rasio C/N jerami padi sesuai dengan standar maka dilakukan pencampuran dengan limbah yang memiliki kadar nitrogen (N) yang tinggi. Terdapat limbah kotoran ternak yang memiliki kandungan nitrogen yang tinggi, pada kotoran sapi memiliki kandungan nitrogen sebesar 0,4% [15], Pada kotoran ayam memiliki kandungan nitrogen sebesar 1,70% [16]. Pada kotoran babi memiliki kandungan nitrogen sebesar 0,95% [17]. Pada kotoran domba memiliki kandungan nitrogen 1,2% [18]. Dengan nilai rasio C/N yang dimiliki jerami padi dengan rasio C/N sebesar 41 perlu dilakukan penambahan limbah kotoran ternak yang memiliki nilai nitrogen yang tinggi, kotoran ayam memiliki nilai nitrogen yang tinggi dibanding dengan limbah yang lain dengan nilai nitrogen sebesar 1,70%.

Dalam pencampuran bahan baku untuk pembentukan biogas, parameter yang harus diperhatikan tidak hanya rasio C/N, temperatur juga harus di perhatikan dalam pembentukan biogas yang ideal.

Pada temperatur pembentukan biogas terdapat 2 kondisi temperatur pada proses anaerobik dintaranya pada kondisi mesofilik, dan pada kondisi termofilik [19]. Berdasarkan penelitian [19] melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur suhu anaerobik terhadap hasil biogas menggunakan bahan baku limbah rumah makan dengan variasi temperatur 35, 40, dan 55°C dan hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur optimum dalam penelitian ini adalah 55°C dengan produksi biogas sebanyak 7.350 Ml. Berdasarkan penelitian [20] melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur suhu anaerobik terhadap hasil biogas menggunakan bahan baku limbah kolam ikan gurame, penelitian ini menunjukkan terdapat dua perlakuan dalam tempertaur dalam menghasilkan biogas diantaranya mesofilik dan thermofilik pada 8 liter substart dalam digester, hasil penelitain ini pada perlakuan temperatur mesofilik mendapatkan potensi biogas sebesar 1.401,25 ml/liter bahan baku, sedangkan untuk perlakuan thermofilik menghasilkan potensi biogas 2.421,25 ml/ liter bahan baku. Hasil penelitian ini menunjukkan perakuan tempertur anaerobik berpengaruh terhadap hasil biogas [20].

Berdasarkan cara pengisian bahan baku, digester dibagi menjadi dua jenis sistem batch dan sistem kontinyu telah digunakan dalam berbagai penelitian yang melakukan eksperimen dengan kedua jenis digester tersebut. Penelitian [21] membandingkan digester tipe batch dan digester tipe kontinyu, menunjukkan bahwa digester tipe batch menghasilkan volume biogas lebih tinggi tetapi memiliki kadar CH₄ yang lebih rendah dibandingkan dengan digester tipe kontinyu. Penelitian lainnya, yaitu penelitian [22] menginvestigasi produksi biogas menggunakan digester tipe batch dalam pengolahan limbah cair dari industri kopi, dan menemukan bahwa digester ini menghasilkan volume biogas yang stabil. Perbedaan mendasar antara kedua jenis digester adalah bahwa digester kontinyu memiliki risiko udara masuk selama pengisian bahan baku, sedangkan digester tipe batch terisolasi setelah pengisian bahan baku dan beroperasi hingga produksi biogas selesai.

Pada penelitian [23] jumlah energi listrik yang dapat dihasilkan oleh biogas bergantung pada volume biogas yang dihasilkan. Banyak penelitian sebelumnya yang telah mengkaji potensi energi listrik yang dapat diperoleh dari biogas. Berdasarkan penelitian [23] biogas yang dihasilkan dari kotoran feses 8 komoditas ternak sebanyak 19.183.779 ekor di Pulau Bali memiliki potensi untuk menghasilkan 246.130,81 m³ biogas per hari, yang jika dikonversi dapat menghasilkan energi listrik sebesar 1,16 GWh per hari.

Dari permasalahan limbah jerami yang tidak dimanfaatkan dengan baik limbah jerami padi menjadi biogas telah dilakukan pada penelitian [9] dan [8] mengkaji tentang pemanfaatan limbah jerami padi menjadi biogas menggunakan fermentasi anaerob, namun penelitian ini hasil biogas yang dihasilkan kurang optimal dikarenakan limbah jerami padi memiliki rasio C/N 41, Dengan rasio C/N tinggi maka perlu dilakukan pencampuran bahan organik yang memiliki kandungan nitrogen yang tinggi untuk mengidealkan rasio C/N. Berdasarkan referensi yang dirujuk kotoran ayam memiliki kandungan nitrogen yang tinggi dibanding kotoran sapi, kotoran domba, dan kotoran babi. Dalam pembentukan biogas parameter yang penting diantaranya rasio C/N, bedasarkan penelitian [24] melakukan kajian tentang pembentukan biogas dengan menggunakan perhitungan rasio C/N untuk menghitung berapa massa yang di butuhkan untuk pencampuran dengan rasio C/N yang ideal, penelitian ini menetapkan pada rasio C/N 30 untuk mengoptimalkan biogas yang dihasilkan. Dan parameter untuk pembentukan biogas diantaranya temperatur, berdasarkan penelitian [19] dan [20] melakukan kajian penelitian ini menggunakan temperatur diantaranya temperatur pada digester anaerobik kondisi mesofilik dan thermofilik dan digester yang digunakan bedasarkan penelitian [21] dan [22] melakukan kajian tentang dalam pembentukan biogas tipe batch merupakan tipe digester yang baik dalam pembentukan biogas yang dihasilkan. penelitian ini memanfaatkan limbah jerami padi menjadi biogas. Rasio C/N pada jerami padi 41 diatas dari standar pembentukan biogas 20-30 rasio C/N. Penelitian ini menambahkan limbah kotoran ayam yang memiliki kadar nitrogen yang tinggi yaitu 1,7%. Potensi biogas yang dihasilkan pada proses fermentasi dilakukan variasi temperatur pada mesofilik (35°C) dan termofilik (55°C). Dan melakukan perhitungan listriknya yang dihasilkan dari bahan baku pencampuran limbah jerami padi dan kotoran ayam.

Penelitian ini memanfaatkan pencampuran limbah jerami padi yang memiliki rasio C/N tinggi 41 dan dilakukan pencampuran dengan kotoran ayam yang memiliki kadar N yang tinggi 1,7% untuk mendapatkan potensi biogas dan energi listrik. Pada penelitian ini menggunakan jerami padi dalam pembentukan biogas dengan pencampuran kotoran ayam. Bahan baku kotoran ayam yang akan digunakan pada pencampuran jerami padi dihitung dengan rasio C/N 30 karena rasio C/N ini yang ideal dalam pembentukan biogas. Setelah mendapatkan massa bahan baku yang digunakan selanjutnya menghitung potensi biogas dengan menggunakan metode Fermentasi Anaerob dengan bantuan simulasi *superpro designer* dengan menggunakan keadaan dua temperatur pada mesofilik (35°C) dan termofilik (55°C). Alasan menggunakan metode fermentasi anaerob ini dikarenakan metode ini menghasilkan biogas dengan kandungan metan yang tinggi dan dapat menggunakan berbagai jenis bahan organik untuk memaksimalkan manfaatnya sebagai sumber energi terbarukan dan solusi pengolahan limbah yang ramah lingkungan. Pemanfaatan perangkat lunak Superpro dapat memberikan analisis ekonomi yang lebih mendalam dan menyeluruh, serta memungkinkan pemodelan berbagai skenario dan faktor ekonomi yang mempengaruhi proyek dan penelitian biogas ini juga menghitung potensi energi listrik yang dihasilkan dari potensi biogas yang memiliki rasio C/N 30 yang optimal. Penggunaan suhu mesofilik dan termofilik dalam fermentasi anaerob memungkinkan pengelolaan limbah yang lebih efisien, produksi energi yang lebih tinggi, serta pengendalian kualitas produk akhir. Pemilihan suhu yang tepat tergantung pada jenis limbah dan tujuan dari proses fermentasi tersebut.. Penelitian akan mengkaji pengaruh temperatur mesofilik dan termofilik terhadap potensi biogas dari pencampuran jerami padi dan kotoran ayam yang sesuai dengan standar rasio C/N pembentukan biogas.

B. Metodologi Penelitian

Jemari padi merupakan salah satu limbah dari pertanian, dalam 1 hektar sawah jerami padi yang dihasilkan sebesar 4 Ton [6], apabila tidak dimanfaatkan dengan baik akan menimbulkan pengaruh yang cukup buruk bagi kesehatan. Dalam pemanfaatan jerami padi menjadi biogas, jerami padi kurang optimal untuk menghasilkan biogas dikarenakan jerami padi memiliki rasio C/N yang kurang ideal dalam pembentukan biogas dengan rasio C/N 41 [12] dan perlu dilakukan pencampuran dengan bahan baku yang memiliki unsur nitrogen yang tinggi untuk menoptimalkan hasil biogas yang didapatkan. Maka penelitian ini melakukan pencampuran dengan kotoran ayam yang memiliki unsur karbon yang tinggi dengan menetapkan rasio C/N sebesar 30 alasan menetapkan rasio C/N ini dikarenakan pada rasio C/N sebesar 30 merupakan rasio C/N ideal dalam pembentukan biogas, tujuan menetapkan rasio C/N untuk menentukan berapa bahan baku kotoran ayam yang akan digunakan untuk mengoptimalkan hasil biogas yang dihasilkan dan penelitian ini membandingkan temperatur mesofilik dan termofilik yang baik dalam pencampuran jerami padi dan kotoran ayam menggunakan metode simulasi superpro designer. Dengan kajian diawali mengumpulkan bahan baku jerami padi yang digunakan dan menetapkan rasio C/N yang digunakan untuk menentukan bahan baku kotoran ayam yang akan digunakan, kemudian dilakukan pengumpulan data kandungan kandungan yang terdapat pada jerami padi dan kotoran ayam, kemudian dilakukan perancangan komponen yang dibutuhkan dalam simulasi dalam pembentukan biogas, setelah komponen dirancang kemudian dilakukan perhitungan biogas yang dihasilkan, dalam komponen digester anaerob menggunakan dua temperatur yaitu mesofilik dan termofilik dan selanjutnya penelitian ini melakukan perhitungan potensi listrik yang dihasilkan.

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini merupakan data sekunder. Data limbah jerami padi digunakan untuk menghitung potensi biogas dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Jerami Padi [6]

No	Parameter	Jumlah
1	Sawah	1 hektar
2	Jerami padi	4 Ton

Tabel 1 merupakan data jerami diperoleh dari penelitian [6]. Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa 1 hektar sawah tumbuhan padi menghasilkan 4 Ton jerami padi yang dihasilkan. Data ini digunakan untuk penginputan di komponen grinding untuk menghitung berapa potensi biogas yang dihasilkan menggunakan simulasi superpro designer.

Tabel 2. Kandungan jerami padi [9] Dan Kotoran Ayam [25]

No	Senyawa	Kadar	
		Jerami Padi Ayam	Kotoran
1	Cellulosa	42,3%	-
2	Hemicellulosa	24%	-
3	Lignin	22,4%	-
6	Ash	5,1%	-
7	Ect	6,2%	-
8	Protein	-	39,09%
9	Lemak	-	3,32%
10	serat	-	16,50%
11	Kalsium	-	2,10%
12	Fosfor	-	1,44%
13	BETN	-	13,12%
14	Abu	-	14,73%
15	Air	-	9,70%
Total		100%	100%

Data pada tabel 2 diperoleh dari penelitian [9] dan [25]. Tabel 2 merupakan kandungan yang terdapat pada jerami padi dan kotoran ayam, pada jerami padi terdapat kandungan selulosa, hemislulosa, lignin, ASH dan ECT, Kandungan senyawa dalam jerami padi menunjukkan bahwa sangat potensial untuk produksi biogas karena tingginya kandungan *cellulosa* dan *hemicellulosa*. pada kotoran ayam terdapat kandungan protein, lemak, serat, kalsium, fasfor, BETN, abu, air. Kandungan senyawa dalam limbah kotoran ayam menunjukkan bahwa sumber yang sangat baik untuk meningkatkan produksi biogas karena tingginya kadar protein dan nitrogen. Dengan pencampuran limbah ini efisiensi produksi biogas dapat ditingkatkan secara signifikan. Dara ini digunakan untuk penginputan di pure componen untuk menghitung berapa potensi biogas yang dihasilkan menggunakan simulasi superpro designer.

Tabel 3. Rasio C/N Bahan Baku Jerami Padi [9] dan Kotoran Ayam [25]

No	Senyawa	C Total (%)	N Total (%)	Rasio C/N
1	Jerami Padi	44,71%	1,08%	41
2	Kotoran Ayam	18,36%	1,7%	10,8

Tabel 3 merupakan data rasio C/N jerami padi dan kotoran ayam diperoleh dari penelitian [25]. Tabel 3 merupakan rasio C/N bahan baku, jerami padi memiliki C organik 44,71 dan N total sebesar 1,08% dengan rasio C/N didapatkan 41 [9]. Kemudian pada kotoran ayam terdapat C organik sebesar 18,36% dan N total sebesar 1,7% dengan rasio C/N 10,8. Setelah didapatkan C organik dan N total maka langkah selanjutnya melakukan perhitungan massa bahan baku untuk mencapai rasio C/N yang ideal yaitu 30.

Tabel 4. Temperatur Digester [19][20]

No	Senyawa	Mesofilik	Termofilik
1	Pecampuran Bahan Baku Didalam Digester	35 ⁰	55 ⁰

Tabel 4 merupakan temperatur mesofilik dan termofilik. Dari tabel 4 dapat di lihat temperatur yang akan digunakan dalam proses fermentasi yaitu temperatur mesofilik 35⁰ dan temperatur

termofilik 55° . Temperatur ini digunakan untuk penginputan di komponen anaerobic digestion untuk menentukan potensi biogas yang dihasilkan, dapat dilakukan perhitungan menggunakan simulasi dengan perangkat lunak Superpro Designer. Temperatur mesofilik dan termofilik adalah parameter yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan output biogas. Temperatur mesofilik merujuk pada rentang suhu yang optimal untuk pertumbuhan mikroorganisme mesofilik, yaitu mikroba yang berkembang paling baik pada suhu sedang. Rentang suhu ini biasanya berada antara 20°C hingga 45°C , dengan kisaran optimal sekitar 30°C hingga 40°C . Temperatur termofilik merujuk pada rentang suhu yang optimal untuk pertumbuhan mikroorganisme termofilik, yaitu mikroba yang berkembang paling baik pada suhu tinggi. Rentang suhu ini biasanya berada antara 45°C hingga 80°C , dengan kisaran optimal sekitar 55°C hingga 70°C [19].

2. Perhitungan Massa Bahan Baku

Rasio karbon/nitrogen (C/N) dalam konteks limbah untuk produksi biogas adalah kunci untuk mengoptimalkan proses fermentasi anaerobik. Rasio C/N mempengaruhi efisiensi penguraian bahan organik oleh mikroorganisme penghasil biogas. Rasio yang dianjurkan untuk produksi biogas berada di kisaran 20 hingga 30. Rasio ini memberikan keseimbangan yang baik antara karbon dan nitrogen, memfasilitasi aktivitas mikroorganisme. Perhitungan massa bahan baku campuran jerami padi dan kotoran ayam. Pada penelitian ini massa bahan baku jerami padi sebanyak 4 ton, karena rasio C/N jerami padi 41 maka penelitian ini mencampur dengan kotoran ayam. Rasio C/N yang ditetapkan pada penelitian ini 30, maka akan dilakukan perhitungan massa dari kotoran ayam untuk rasio C/N 30 menggunakan persamaan 1.

$$\text{Massa kotoran ayam} = \frac{\left(\frac{C}{N} \times N \times \text{massa}\right)_{\text{jerami padi}} - \left(\frac{C}{N} \times \text{ideal (N} \times \text{massa)}\right)_{\text{jerami padi}}}{\frac{C_{\text{ideal}}}{N} \times N \times \text{kotoran ayam} - \left(\frac{C}{N} \times N \times \text{kotoran ayam}\right)} \quad (1)$$

Massa kotoran ayam : Massa kotoran ayam (kg)

C/N kotoran ayam : Rasio C/N yang terkandung di kotoran ayam

N ayam : Nitrogen yang terkandung di kotoran ayam

Massa jerami padi : Massa jerami padi yang digunakan (kg)

C/N ideal : Rasio C/N yang ideal

N jerami padi : Nitrogen yang terkandung di jerami padi

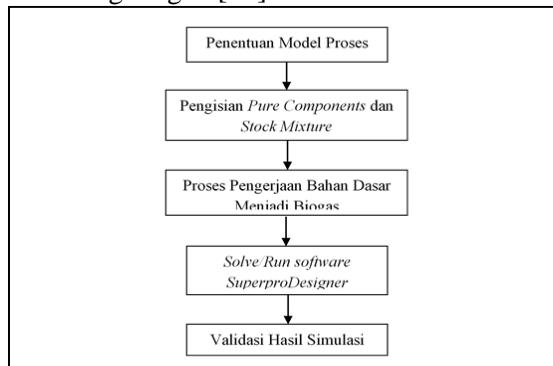
3. Perhitungan Potensi Biogas

Setelah didapatkan rasio C/N dengan memvariasikan bahan baku yang digunakan maka metode selanjutnya melakukan perhitungan potensi biogas dengan bantuan simulasi *superpro disgener* dengan metode Fermentasi Anaerob. Fermentasi Anaerob merupakan proses biokimia dimana mikroorganisme, seperti bakteri, menguraikan bahan organik kompleks secara Anarerobik atau tanpa oksigen menjadi gas metana, dan karbon dioksida. Pada Fermentasi Anaerob, terjadi 4 yaitu *hidrolisis*, *asidogenesis*, *asetogenesis* dan *methanogenesis*. SuperPro adalah perangkat lunak yang digunakan untuk merancang, mensimulasikan, dan menganalisis proses produksi biogas dari limbah organik. Dengan menggunakan SuperPro dapat membantu pengguna membuat model proses anaerobik secara detail, termasuk langkah-langkah seperti pengolahan limbah, Fermentasi, dan pemisahan biogas, Memungkinkan simulasi berbagai kondisi operasional dan pengaruhnya terhadap produksi biogas, seperti variasi suhu, dan rasio C/N dan Mengidentifikasi parameter yang dapat dioptimalkan untuk meningkatkan efisiensi dan output biogas.

Hidrolisis adalah tahap di mana biomassa kompleks dipecah menjadi glukosa sederhana. Asidogenesis melibatkan penguraian monomer dan oligomer menjadi asam asetat, karbon dioksida (CO₂), asam lemak rantai pendek, dan alkohol. Asetogenesis menghasilkan asam asetat, CO₂, dan hidrogen (H₂), sementara metanogenesis adalah proses di mana senyawa-senyawa tersebut diubah menjadi gas metana oleh bakteri metanogenik. Pada reaksi yang digunakan untuk mengolah campuran jerami padi dan kotoran ayam menjadi gas metana dan karbon dioksida [26], proses reaksi ini terdapat pada tabel 6.

1. Alur Pembuatan Biogas dari Campuran Jerami Padi Dan Kotoran Ayam *Software superpro.*

Potensi biogas dari pecampuran jerami padi dan kotoran ayam ditentukan dengan metode Fermentasi Anaerob alasan pemilihan jenis metode ini dikarenakan metode ini menghasilkan biogas dengan kandungan metan yang tinggi dan dapat menggunakan berbagai jenis bahan organik untuk memaksimalkan manfaatnya sebagai sumber energi terbarukan dan solusi pengolahan limbah yang ramah lingkungan [27].



Gambar 1. Rangkaian Produksi Biogas dari jerami padi dan kotoran ayam dengan *Software Superpro*.

2. Penentuan Mode Proses

Dalam proses pembentukan biogas menggunakan perangkat lunak Superpro, terdapat beberapa tahapan, di mana model proses yang digunakan diterapkan setelah penentuan nilai komponen murni. Dalam mensimulasikan *software* tersebut menggunakan proses *Batch* dengan durasi sesuai rekomendasi *Software Superpro* yaitu 336 hari. Alasan memilih proses *Batch* proses karena Digester tipe batch cenderung menghasilkan volume biogas yang lebih tinggi [21]. Unit prosedur yang dipakai adalah fermentasi menggunakan *Anaerob Digestion*.

3. Pengisian Pure Components dan Stock Mixture

Komponen terdiri dari komponen murni, yang disebut juga sebagai Pure Components, yaitu senyawa-senyawa yang bereaksi selama simulasi, komponen ini terdiri dari kandungan, kotoran ayam terdapat pada tabel 2.

4. Proses penggerakan Bahan dasar menjadi biogas

Proses pembuatan biogas dimulai dengan persiapan dan pengolahan bahan baku dalam Anaerobic Digester. Selama proses ini, gas metana dan karbon dioksida dihasilkan melalui reaksi kimia yang dibantu oleh bakteri, yang mencakup tahapan hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Pengolahan biogas dari campuran jerami padi dan kotoran ayam membutuhkan komponen Anaerobic Digester, yaitu proses tertutup yang kekurangan oksigen bebas untuk menghasilkan biogas. Hasil dari proses ini adalah campuran jerami padi dan kotoran ayam. Produk akhir yang dihasilkan adalah biogas yang terdiri dari gas metana dan karbon dioksida, yang dapat dilihat pada tabel 2 dan 3. Dalam proses ini, terdapat dua unit prosedur yang digunakan yang dapat ditemukan dalam tabel 5.

Proses ini juga melibatkan penyusunan reaktor yang diperlukan serta pengolahan bahan baku di dalam anaerobic digester. Dari pengolahan tersebut, gas metana dan karbon dioksida dihasilkan melalui tahapan hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis, yang dapat dijelaskan lebih lanjut pada tabel 8.

Tabel 5. Unit Prosedur yang digunakan

No	Unit Prosedur	Inputan Proses	Output Proses
1	<i>Grinding</i> Merupakan suatu Komponen yang berfungsi untuk pengurangan ukuran jerami padi dari bentuk kasar menjadi halus	Inputan yang digunakan pada proses ini adalah limbah jerami padi, pada tabel 2 dan air.	Keluaran yang dihasilkan dari proses ini adalah limbah jerami padi yang halus.
2	<i>Mixing</i> Merupakan suatu proses pencampuran bahan sehingga dapat bergabung menjadi homogen yang bersifat seragam	Inputan yang digunakan pada proses ini adalah limbah jerami padi, limbah kotoran ayam dan air dengan kandungan seperti pada tabel 2 dan 3 dan air.	Keluaran yang dihasilkan dari proses ini adalah limbah jerami padi yang telah tercampur limbah kotoran ayam dan air.
3	Anaerobic Digester adalah proses fermentasi tertutup yang berlangsung tanpa keberadaan oksigen bebas untuk menghasilkan biogas.	Dalam proses ini, input yang dimasukkan adalah hasil keluaran dari proses pencampuran, yang berupa limbah jerami padi yang telah tercampur dengan limbah kotoran ayam dan air.	Hasil keluaran dari proses ini adalah biogas, yang mengandung gas metana dan karbon dioksida.

Pada Digester Anaerob menggunakan metode Fermentasi Anaerob, pada digester ini terdapat 13 reaksi proses yang digunakan untuk mengolah bahan baku menjadi gas metana dan karbon dioksida, yang tercantum pada tabel 5. Tabel 5 menunjukkan reaksi-reaksi yang diperlukan dalam reaktor anaerob digester untuk menghasilkan biogas. [28].

Tabel 6. Reaksi yang dibutuhkan reaktor anaerob digester dalam menghasilkan biogas [28].

No	Reaksi Yang Terjadi	Reactants		Products	
		Component	Mass Coef	Component	Mass Coef
1	Hidrolisis Karbohidrat	Carbohydrates water	147,6 147,6	Glucose	295,2
2	Hidrolisis Lemak	fats	147,6	glycerol Oleic Acid	36,8447 110,7553
3	Hidrolisis Protein	Proteins	147,6	Cystine	147,6
4	Asidogenesis Cystine	Cystine	164,1678	Lactic Acid Propionic Acid	90,0878 74,08
5	Asidogenesis Oleic Acid	Oleic Acid	0,6875	Acetic Acid Butyric Acid Ethyl Alcohol	1 1 1
6	Asidogenesis Glucose	Glucose	106,122	Acetic Acid Ethyl Alcohol	60,053 46,069
7	Asidogenesis Glycerol	Glycerol	0,8044	Propionic Acid	1
8	Asetogenesis Ethil Alcohol	Ethyl Alcohol	62,0729	Acetic Acid Hydrogen	60,053 2,0199
9	Asetogenesis Lactic Acid	Lactic Acid	90,0788	Acetic Acid Carbon Dioxide Hydrogen	60,053 28,0098 2,016

10	Asetogenesis Butyric Acid	Butyric Acid	88,106	Acetic Acid	60,053
				Carbon Dioxide	28,053
11	Asetogenesis Propionic Acid	Propionic Acid	74,08	Acetic Acid	60,053
				Carbon Dioxide	12,011
				Hydrogen	2,016
12	Metanogenesis Acetic Acid	Acetic Acid	60,053	Carbon Dioxide	30
				Methane	30,053
13	Metanogenesis Carbon Dioxide	Carbon Dioxide	1	Methane	1,746
		Hydrogen	1	Water	1

Tabel 6 menunjukkan 13 reaksi yang diperlukan dalam reaktor anaerob digester untuk menghasilkan biogas dibutuhkan dari pecampuran jerami padi dan kotoran ayam diantaranya hidrolisis karbohidrat, hidrolisis lemak, hidrolisis protein, *asidogenesis cystine, asidogenesis Oleic Acid, Asidogenesis Glucose, Asidogenesis Glycerol, Asetogenesis Ethil Alcohol, Asetogenesis Lactic acid, Asetogenesis Butyric Acid, Asetogenesis Propionic Acid, Metanogenesis Acetic Acid, Metanogenesis Carbon Dioxide*.

4. Validasi Simulasi

Validasi yang dilakukan dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan hasilnya dengan penelitian sebelumnya [29] yang mengangkat topik pembahasan pemanfaatan limbah jerami padi menjadi biogas menggunakan metode fermentasi anaerob.

Tabel 7. Validasi Hasil Simulasi

No	Parameter	Penelitian [29]	Validasi
1	Bahan Baku	Jerami padi	Jerami padi
2	Komposisi	Cellulosa 42,3%, Hemicellulosa 24%, Lignin 22,4%, Ash 5,1%, Ect 6,2%	Cellulosa 42,3%, Hemicellulosa 24%, Lignin 22,4%, Ash 5,1%, Ect 6,2%
3	Nilai Input	700 kg	700 Kg
4	Nilai Ouput	168 m ³	176,2 m ³

Berdasarkan tabel 7, hasil simulasi divalidasi dengan merujuk pada penelitian [29], yang menggunakan 700 kg bahan baku jerami padi. Simulasi SuperPro pada penelitian referensi menghasilkan volume biogas sebesar 176,2 m³, sementara hasil penelitian referensi menunjukkan volume biogas sebesar 168 m³. Dari perbandingan volume biogas tersebut, diketahui bahwa tingkat kesalahan yang terjadi sebesar 4,8%. Oleh karena itu, penelitian ini dapat dianggap valid karena tingkat kesalahannya tidak melebihi 10% [30].

Dalam kajian ini, diterapkan metode validasi terhadap literatur ilmiah. Validasi literatur ilmiah merupakan proses untuk menilai dan memastikan keabsahan serta kredibilitas informasi yang digunakan dalam penelitian, dengan merujuk pada literatur yang telah dipublikasikan sebelumnya. Tujuan utama dari validasi ini adalah untuk memastikan bahwa dasar teori, metode, dan temuan yang diambil dari literatur tersebut sesuai, relevan, dan dapat diandalkan dalam mendukung kerangka penelitian yang sedang dilakukan untuk konversi Biogas dan Penggunaanya.

Potensi energi listrik yang dihasilkan dari biogas bergantung pada volume biogas yang diperoleh dalam penelitian. Potensi energi listrik dapat dihitung setelah mengetahui jumlah volume biogas yang dihasilkan. Perhitungan energi listrik yang dihasilkan oleh biogas tersedia pada Tabel 8.

Tabel 8. Konversi Biogas dan Penggunaannya [23]

No	Penggunaan	1 m ³ Biogas
1	Penerangan	Lampu 60 hingga 100 watt yang menyala selama 6 jam
2.	Memasak	Mempersiapkan 3 jenis masakan untuk 5-6 orang
3	Tenaga	Mengoperasikan motor 1 hp selama 2 jam
4	Listrik	Energi listrik sebesar 4,7 kWh

6. Perhitungan Konversi Energi Listrik

Setelah diketahui potensi biogas dari pecampuran jerami padi dan kotoran ayam, maka penelitian ini langkah selanjutnya melakukan perhitungan konversi energi listrik yang dihasilkan. Alasan memilih energi listrik dikarenakan berapa potensi biogas yang dihasilkan dalam pecampuran jerami padi dan kotoran ayam untuk menghasilkan energi listrik yang dihasilkan menggunakan persamaan 2.

$$S = W \times P \quad (2)$$

Keterangan :

- S = Energi Listrik (kWh)
- W = Potensi Biogas (m³)
- P = Listrik Dalam 1 m³ (kWh)

Pada persamaan 2 perhitungan konversi energi listrik, persamaan 2 diketahui S merupakan energi listrik yang dihasilkan dari potensi biogas yang dihasilkan, untuk W merupakan potensi biogas yang didapatkan dan untuk P merupakan energi listrik yang dihasilkan pada 1 m³ biogas diketahui untuk 1 m³ biogas yang dihasilkan untuk energi listrik yang dihasilkan sebesar 4,7 kWh.

C. Hasil dan Pembahasan

1. Nilai Massa Bahan Baku Kotoran Ayam

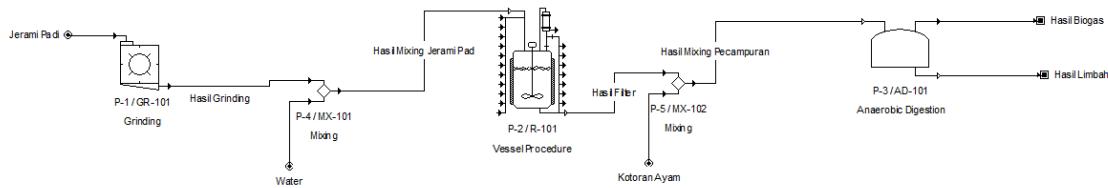
Sebelum biogas yang dihasilkan dengan metode Fermentasi Anaerob perlu dilakukan perhitungan bahan baku pecampuran yang digunakan untuk mengoptimalkan hasil biogas yang didapatkan dari rasio C/N 30 yang digunakan dengan menggunakan persamaan (1)

Tabel 9. Hasil Bahan Baku Yang Digunakan

No	Parameter	Jumlah	Rasio C/N
1	Jerami Padi	4000 Kg	30
2	Kotoran Ayam	1455 Kg	

Dari tabel 9 merupakan hasil bahan baku yang digunakan dalam pembentukan biogas dengan rasio C/N 30, tabel 9 menunjukkan dengan bahan baku sebanyak 4000 Kg jerami padi membutuhkan 1455 Kg kotoran ayam untuk mencapai rasio C/N sebesar 30. Alasan kenapa limbah jerami padi lebih besar dibanding kotoran ayam hal ini disebabkan karna jerami padi memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi dan kandungan nitrogen yang lebih rendah dibandingkan kotoran ayam. Untuk mencapai rasio C/N yang optimal, diperlukan lebih banyak bahan dengan kandungan nitrogen, yaitu kotoran ayam, agar dapat menyeimbangkan proporsi nitrogen dari jerami padi. Dengan demikian, meskipun jerami padi lebih banyak, rasio C/N yang seimbang tetap dapat tercapai untuk mendukung proses fermentasi dan pembentukan biogas yang efektif.

2. Potensi Biogas Dari Campuran Jerami Padi dan Kotoran Ayam



Gambar 2. Single Line Diagram Proses Fermentasi Anaerob Simulasi Superpro Designer

Pada Gambar 2, dengan menggunakan komponen yang tercantum dalam Tabel 5, dirancang rangkaian simulasi seperti yang ditunjukkan di atas. Limbah jerami padi yang dimasukkan ke dalam komponen penggiling akan melalui proses penghancuran, menghasilkan bahan yang siap untuk tahap selanjutnya. Setelah penggilingan, langkah berikutnya adalah pencampuran limbah jerami padi yang telah dihancurkan dengan kotoran ayam dan air. Campuran ini kemudian menjalani fase fermentasi di dalam anaerobic digester, sebuah sistem yang memungkinkan proses berlangsung tanpa keberadaan udara. Akhirnya, dengan bantuan komponen anaerobic digester, biogas yang terdiri dari metana dan karbon dioksida dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Proses ini tidak hanya berfungsi untuk mengurangi limbah jerami padi dan kotoran ayam yang berpotensi mencemari lingkungan, tetapi juga memberikan nilai tambah berupa energi yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan.

Dalam pembentukan biogas, salah satu parameter yang mempengaruhi adalah temperatur, terdapat dua temperatur yang digunakan dalam pembentukan biogas yaitu mesofilik dan termofilik seperti yang disajikan pada tabel 10.

Tabel 10. Hasil Biogas Dari Pecampuran Bahan Baku Dengan Rasio C/N 30

No	temperatur		Jerami Padi	Kotoran Ayam	Hasil Biogas Simulasi	Kadar	
	mesofilik	35				Karbon Dioksida	Gas Methan
1	mesofilik	35	4000 Kg	1455 Kg	514.227 m ³	18,88 %	81,12 %
	termofilik	55			617.887 m ³	18,17%	81,83%

Tabel 10 merupakan hasil biogas dari pencampuran bahan baku jerami padi dan kotoran ayam. Tabel ini menunjukkan bahwa pencampuran kedua bahan baku dengan perlakuan temperatur yang berbeda akan menghasilkan biogas yang berbeda juga. Dengan menggunakan bahan baku jerami padi 4 Ton dan kotoran ayam 1,4 ton dengan perlakuan temperatur 55⁰ C menghasilkan biogas dan kadar metan tertinggi.

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak Superpro, dengan mencampurkan jerami padi dan kotoran ayam dengan inputan 4000 Kg jerami padi, 1455 Kg kotoran ayam dan menggunakan temperatur 55⁰ C menghasilkan volume tertinggi dengan *volumetric flow* sebesar 617.887 m³ dengan massa *composition* 18,17% karbon dioksida dan 81,83% gas methan. Atau gas methan yang dihasilkan sebanyak 505.617 m³ dan karbon dioksida sebanyak 112.270 m³.

Dapat disimpulkan bahwa temperatur 55⁰ C volume biogas yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan temperatur 35⁰ dengan persentase peningkatan hasil biogas sebesar 20,15%, hal ini terjadi karena Temperatur termofilik merujuk pada rentang suhu yang optimal untuk pertumbuhan mikroorganisme termofilik, yaitu mikroba yang berkembang paling baik pada suhu tinggi. Mikroorganisme ini memiliki enzim dan mekanisme seluler yang memungkinkan mereka bertahan dan berkembang pada suhu ekstrem. Mikroorganisme termofilik digunakan dalam proses yang memerlukan suhu tinggi, seperti pengolahan limbah, produksi biogas, dan fermentasi, sehingga menggunakan temperatur 55⁰ C menghasilkan volume biogas yang lebih besar.

3. Potensi Energi Listrik Dari Konversi Biogas

Perhitungan untuk menentukan besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan dari biogas yang berbahan baku jerami padi dan kotoran ayam dilakukan dengan menggunakan persamaan 2, dan hasil energi listrik yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Potensi Energi Listrik

Perlakuan	Energi Listrik
Mesofilik	2.416.886,9 kWh
Termofilik	2.904.068,9 kWh

Jika diperoleh energi listrik yang dapat dihasilkan oleh perlakuan termofilik sebesar 2.904.068,9 kWh, sementara energi listrik yang dihasilkan oleh perlakuan mesofilik sebesar 2.416.886,9 kWh, dengan selisih mencapai 20,17%. Produksi volume biogas memiliki pengaruh besar terhadap energi listrik yang dihasilkan, sehingga penelitian ini menunjukkan bahwa dengan temperatur termofilik dalam pencampuran jerami padi dan kotoran ayam memiliki energi listrik yang besar dibandingkan temperatur mesofilik dalam pembentukan biogas. Dengan kapasitas 2.904.068,9 kWh maka biogas dari pencampuran jerami padi dan kotoran ayam dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan.

D. Penutup

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa kenaikan temperatur berpengaruh signifikan terhadap produksi biogas dan energi listrik. Dengan menggunakan kotoran ayam pada rasio C/N 30, suhu 55°C menghasilkan biogas sebesar 617.887 m³ dan energi listrik sebesar 2.904.068,9 kWh. Ini lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 35°C yang menghasilkan 514.227 m³ biogas dan 2.416.886,9 kWh energi listrik. Selisih antara kedua temperatur menunjukkan peningkatan sekitar 20,17% dalam hal produksi energi. Temuan ini mengindikasikan bahwa suhu yang lebih tinggi, yaitu 55°C, mendukung proses pembentukan biogas secara optimal, sehingga menghasilkan lebih banyak biogas dan energi listrik. Peningkatan suhu dapat mempercepat aktivitas mikroorganisme dalam proses fermentasi, yang berdampak positif pada produksi biogas.

Daftar Pustaka

- [1] Humas, "Indonesia Negara Agraris dan Maritim, tapi Banyak Petani dan Nelayan Belum Sejahtera," Sekretariat Kabinet Republik Indonesia. Accessed: Nov. 13, 2024. [Online]. Available: <https://setkab.go.id/indonesia-negara-agraris-dan-maritim-tapi-banyak-petani-dan-nelayan-belum-sejahtera/>
- [2] Direktorat Jenderal Hortikultura, "Rencana Strategis Direktorat Jenderal Hortikultura 2015-2019," *Potensi, Permasalahan dan Tantangan Pembang. Hortik.*, pp. 5–15, 2019.
- [3] A. Q. Pudjiastuti, G. M. K. Arisena, and A. A. K. Krisnandika, "Rice Import Development in Indonesia," *SOCA J. Sos. Ekon. Pertan.*, vol. 15, no. 2, pp. 390–405, 2021.
- [4] cinnny M. Annur, "Terus Meningkat, Jumlah Penduduk RI Tembus 275, 77 Juta hingga Pertengahan 2022," Databoks. Accessed: Nov. 13, 2024. [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/demografi/statistik/1e1fbb60204f5df/terus-meningkat-jumlah-penduduk-ri-tembus-275-77-juta-hingga-pertengahan-2022>
- [5] F. Firmansyah, M. Yusuf, and T. O. Argarini, "hasil perbaikan penghitungan luas panen dengan menggunakan metode Kerangka Sampel Area (KSA)," *J. Penataan Ruang*, vol. 16, no. 1, p. 47, 2021.
- [6] Annisa Medina Sari, "Pengertian, Macam dan Manfaat Limbah Padi - Fakultas Pertanian," Fakultas Pertanian Umsu. Accessed: Nov. 13, 2024. [Online]. Available: <https://faperta.umsu.ac.id/2023/05/09/pengertian-macam-dan-manfaat-limbah-padi/>

- [7] L. Jürgensen, E. A. Ehimen, J. Born, and J. B. Holm-Nielsen, "Dynamic biogas upgrading based on the Sabatier process: Thermodynamic and dynamic process simulation," *Bioresour. Technol.*, vol. 178, pp. 323–329, 2015, doi: 10.1016/j.biortech.2014.10.069.
- [8] H. Yuni, "PENGARUH PENAMBAHAN JERAMI PADI DAN ECENG GONDOK PADA DIGESTER TERHADAP SUHU DAN RASIO C/N SLUDGE BIOGAS," Universitas Hasanuddin, 2017.
- [9] R. Ananda and N. P. Miefthawati, "Analisis Pemanfaatan Jerami Padi Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Biogas," *J. Al-AZHAR Indones. SERI SAINS DAN Teknol.*, vol. 9, no. 2, p. 136, 2024, doi: 10.36722/sst.v9i2.2749.
- [10] A. S. B. Sipahutar, *Kualitas Biogas Menggunakan Feses Kerbau dan Jerami Padi (Oryza sativa) Sebagai Alternatif Energi Terbarukan*. 2020.
- [11] S. Pacitra, S. H. Abdullah, and E. S. Dewi, "PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN VOLUME LIMBAH TAHU EFFECT OF VARIATION IN VOLUME ADDITION OF TOFU WASTE TO A . LATAR BELAKANG yang semakin banyak sehingga menyebabkan peningkatan penggunaan bahan bakar minyak (BBM). jumlah besar , mudah didapat dan ramah li," vol. 4, no. 1, pp. 18–27, 2024.
- [12] L. T. Indriyati, S. Sabiham, L. K. Darusman, R. Situmorang, . Sudarsono, and W. H. Sisworo, "Transformasi Nitrogen dalam Tanah Tergenang: Aplikasi Jerami Padi dan Kompos Jerami Padi," *J. Trop. Soils*, vol. 13, no. 3, pp. 189–197, 2008, doi: 10.5400/jts.2008.v13i3.189-197.
- [13] Y. Li, S. Y. Park, and J. Zhu, "Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 1, pp. 821–826, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2010.07.042.
- [14] E. Sarwono, F. Subekti, and B. N. Widiarti, "Eichhornia Crassipes Mixture Variation Effect and Cow Rumination Content on Biogas Production," *Environ. Technol. J.*, vol. 2, no. 2012, pp. 1–10, 2018.
- [15] N. M. E. Y. Dewi, Y. Setiyo, and I. M. Nada, "Pengaruh Bahan Tambahan Pada Kualitas Kompos Kotoran Sapi," *J. Beta (biosistem dan Tek. pertanian)*, vol. 5, no. 1, pp. 76–82, 2017.
- [16] N. C. A. VASYA, "PENGARUH APLIKASI BOKASHI SEKAM PADI DAN KOTORAN AYAM TERHADAP KEPADATAN ULTISOL SERTA HASIL KEDELAI (Glycine max (L.) merril)," UNIVERSITAS JAMBI, 2023.
- [17] Y. Ririn, D. Pioh D, and R. Nangoi, "Pengaruh Inkubasi Kotoran Babi Sebagai Pupuk Organik Terhadap Pertumbuhan Tanaman Selada (Lactuca sativa L.)," *J. Agroecotechnology Appl.*, vol. 3, no. 2, pp. 470–477, 2022.
- [18] M. Resthu, M. Jamilah, and Z. Zulwanis, "Pengaruh Pemberian Kotoran Domba Dengan Berbagai Level Terhadap Pertumbuhan Rumput Kolonjono (Brachiaria Mutica)," *J. Ilmu dan Teknol. Peternak.*, vol. 11, no. 2, pp. 65–69, 2024, doi: 10.20956/jitp.v11i2.30958.
- [19] S. Rezeki, W. D. Ivontianti, and A. Khairullah, "Optimasi Temperatur Pada Produksi Biogas dari Limbah Rumah Makan di Kota Pontianak," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 5, no. 1, p. 32, 2021, doi: 10.30588/jeemm.v5i1.850.
- [20] D. Irawan and A. Khudori, "Pengaruh Suhu Anaerobik Terhadap Hasil Biogas Menggunakan Bahan Baku Limbah Kolam Ikan Gurame," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 17–22, 2015, doi: 10.24127/trb.v4i1.3.
- [21] L. M. Shitophyta, M. H. Darmawan, and Y. Rusfidiantoni, "Produksi Biogas dari Kotoran Sapi dengan Biodigester Kontinyu dan Batch: Review," *J. Chem. Process Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 85–90, 2022, doi: 10.33536/jcpe.v7i2.903.
- [22] E. Novita, S. Wahyuningsih, and H. A. Pradana, "Variasi Komposisi Input Proses Anaerobik Untuk Produksi Biogas Pada Penanganan Limbah Cair Kopi," *J. Agroteknologi*, vol. 12, no. 01, p. 43, 2018, doi: 10.19184/j-agt.v12i1.7887.

- [23] M. Candra Santoso, I. A. D. Giriantari, and W. G. Ariastina, “Studi Pemanfaatan Kotoran Ternak Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Di Bali,” *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 4, p. 58, 2019, doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i04.p9.
- [24] W. D. N. Galih Munkar, Syafrudin, “Pengaruh C/N Ratio Pada Produksi Biogas Dari Daun Eceng Gondok Dengan Metode Liquid Anaerobic Digestion (L-Ad),” *J. Tek. Lingkung.*, vol. 6, no. 3, pp. 1–8, 2017.
- [25] Nikmatul Ulfa, “Pengaruh Pemberian Kotoran Ayam Yang Difermentasi Sebagai Substitusi Pakan Komersial Terhadap Laju Pertumbuhan Konsumsi dan Konversi Pakan Ayam Pedaging Jantan”.
- [26] Aulia Wulansari Agustin, S. Sudarti, and Y. Yushardi, “Potensi Pemanfaatan Biogas Dari Sampah Organik Sebagai Sumber Energi Terbarukan,” *INSOLOGI J. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 6, pp. 1109–1116, 2023, doi: 10.55123/insologi.v2i6.2841.
- [27] K. Rajagukguk, “Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas Menggunakan Reaktor Biogas Portabel,” *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 63–71, 2020, doi: 10.18196/jqt.010210.
- [28] A. Wahyudi and M. Jelita, “Analisis Potensi Energi Listrik dan Biaya Limbah Rumen Sapi Rumah Potong Hewan Kota Pekanbaru,” *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 2, p. 263, 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i2.117622.
- [29] A. K. Rachman, D. Notosudjono, and H. Soebagia, “Studi Perencanaan Energi Biomassa Dari Limbah Padi Sebagai Alternatif Untuk Bahan Bakar Pembangkit Listrik Di Kota Bogor,” 2018.
- [30] I. Introductory, “Department of Applied Statistics, University College, London. {Communicated by},” vol. ccxxxii, pp. 289–337, 1933.